

## Ekoizpen-sistema automatizatu baten lan-estazioak kontrolatzeko software-osagai kapsulatuak

*(Encapsulated software components for controlling workstations of an automated production system)*

Nagore Iriondo\*, Isabel Sarachaga, María Luz Álvarez, Arantazu Burgos, Aintzane Armentia

Sistemen Ingeniaritza eta Automatika Saila, Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU)

### LABURPENA:

Fabrikazioaren egungo erronken ondorioz, automatizazio industrialeko sistemak kontrolatzeko softwarea gero eta konplexuagoa da. Lan honek ekoizpen-sistemen lan-estazioetarako kapsulatutako kontrol-unitateen eraikuntza lantzen du. Software-osagai horiek MeiA 4.0. metodologiaren arabera eraikitzen dira. Metodologia horrek software-ingeniaritzaren eta automatizazio-ingeniaritzaren estandarrak jarraitzen ditu. Osagaiaren arkitektura bi informazio-eredu ditu, lan-unitatearen egoera, ingurunearekiko konexioak eta kontrol-softwarearen egoera antolatzen dituztenak. Eredu horiek beste osagai batzuekiko elkarrengarritasuna eta enpresaren maila estrategikoen integrazioa errazten dute. Osagaia automatizazio-proiektu batean inplementatzen da, IEC 61131-3 arauaren arabera, eta osagaian bertan txertatutako biki funtzionalarekin balioztatzen da. Kasu praktikoa gisa, piezak mihiztatzeko zelula baten lan-estazio bat kontrolatzen duen osagaiaren garapena aurkezten da.

GAKO-HITZAK: Industry 4.0, automatizazio-sistema industrialak, kontrol automatikoko softwarea, diseinu-metodologia, kontrolagailu logiko programagarriak

### ABSTRACT:

Due to current manufacturing challenges, industrial automation systems control software is becoming increasingly complex. This work focuses on the construction of encapsulated control units for the workstations of production systems. These software components are built according to the MeiA 4.0 methodology. This methodology follows the standards of software engineering and automation engineering. The component architecture has two information models that organize the status of the working unit, its connections to the environment and the status of the control software. These models facilitate interoperability with other components and integration with the strategic levels of the company. The component is implemented in an automation project, according to IEC 61131-3 standard, and validated with the functional twin incorporated into the component itself. As a practical case, the development of the component that controls a workstation of a piece assembly cell is presented.

KEYWORDS: Industry 4.0, industrial automation systems, automation control software, design methodology, programmable logic controllers

1

\*Harremanetan jartzeko/ Corresponding author: Nagore Iriondo, Sistemen Ingeniaritza eta Automatika Saila, Ingeniero Torres Quevedo Plaza, 1, Basurtu-Zorrotza, 48013 Bilbo, Bizkaia.  <https://orcid.org/0000-0002-0274-894X>, [nagore.iriondo@ehu.eus](mailto:nagore.iriondo@ehu.eus)

Nola aipatu / How to cite: Iriondo, Nagore; Sarachaga, Isabel; Álvarez, María Luz; Burgos, Arantazu; Armentia, Aintzane (2025). << Ekoizpen-sistema automatizatu baten lan-estazioak kontrolatzeko software-osagai kapsulatuak >> Ekaia, 49, xx-xx. (<https://doi.org/10.1387/ekaia.27612>)

Jasoa: Ekainak 12, 2025; Onartua: Irailak 30, 2025

ISSN 0214-9001-eISSN 2444-3225 / © 2025 UPV/EHU



Obra Creative Commons Atribución 4.0 Internacional-en lizentzian dago

## 1. SARRERA

Fabrikazio adimendunaren arloko erronka teknologikoek produkzio-sistema automatizatu malguak eta moldagarriak behar dituzte kalitate handiko produktuen ekoizpen pertsonalizatuari aurre egiteko [1]. Testuinguru horretan, Kontrolatzaile Logiko Programagarria (PLC) funtsezko elementua da sistema automatizatu horien kontrola burutzeko. Gainera, industria 4.0 ingurunean, funtzionaltasunak zerbitzu gisa eskaini behar ditu, enpresaren antolaketa eta erabaki-mailetan erabiltzen diren beste tresna batzuekin komunikazioa ahalbidetuz. Beraz, sistema horiek kontrolatzeko softwarea sortzea gero eta prozesu konplexuagoa bihurtu da, eta garrantzi handiagoa hartzen dute softwarearen diseinuak eta informazioaren kudeaketak [2]. Horrela, IEC 61131-3 [3] estandarrak software-eredu bat eta programazio-lengoaia testualak (ST - Structured Text, IL - Instruction List) eta grafikoak (LD - Ladder Diagram, FBD - Function Block Diagram, SFC - Sequential Function Chart) proposatzen ditu kontrol-sistema horien programazioari heltzeko eta PLC programazio-tresnen arteko elkarreragingarritasun-berme handiagoa eskaintzeko. Hala ere, egungo praktika industrialak softwarearen modularitatea nabarmentzen ez duten gida jabeetan oinarritutako garapen-prozesuak aurkezten ditu, berrerabilpena kopiatzean, itsastean eta aldatzean datza, teknikariek martxan jartzean aldaketak egiten dituzte diseinuaren eta kodifikazioaren arteko funsgabetasunak sortuz, eta aldaketen eskuzko kudeaketak softwarea kontrolik gabe eta funtsik gabe haztea dakar [4],[5].

Beraz, industriak langile gaituak behar ditu erronka berri horiei aurre egiteko, eraldaketa digitalerako teknologiei eta kontrol-softwarea garatzeko metodologiei buruzko prestakuntzaren bidez [6], produkzio-prozesuaren informazioa kudeaketa-prozesuekin konektatu ahal izateko [7], [8]. Baina ikertzaileek goi-mailako modelatze-lengoaiei erabilera azpimarratzen dute, modeloetan oinarritutako software-ingeniaritzaren (MBSE – Model Based System Engineering) arloko metodologiak proposatzeko [9], automatizazio-ingeniariek ezagutzen ez dituztenak. Badira beste lan batzuk ere, industria-profesionalei zuzenduagoak, automatizazio-proiektuak automatikoki sortzeko, analisi- eta diseinu-faseak kontuan hartzen ez dituztenak, bai garapen integratuko ingurune komertzialak zein kode irekia darabiltzatenak [10].

Gabezia horiek *MEtthodology for Industrial Automation* (MeiA 4.0) metodologian lantzen dira. Metodologia horrek aurreko bertsio bat [11] zabaltzen du fabrikazio adimendunaren ekimenak sustatzen dituzten arauak txertatzeko. Metodologia horren azken bertsioaren arabera [12], kontrol-softwarea kapsulatutako kontrol-unitateen multzo bat da (MeiA osagaia), implementazio-alderdi guztiak ezkututzen dituen interfaze baten bidez funtzionaltasuna eskaintzen dutenak. Osagaiek elkarrekin lan

egiten dute ekoizpen-helburuak lortzeko, eta enpresa batean erabakiak hartzeko goiko mailekin integratzen dira. 4.0 industriaren paradigman, bat dator I4.0 osagai batekin edo CPPS (Cyber Physical Production System) batekin.

Lan honek kapsulatutako kontrol-unitate horien eraikuntza lantzen du. Unitate horien arkitekturak honako elementu hauek ditu: *Integrazio-eredua (IE)*, lan-unitatearen egoera eta ingurunearekiko konexioak antolatzen dituena; *Kontrol-sistemaren eredua (KSE)*, kontrol-softwarearen egoera jasotzen duena; eta *Prozedurak*, kontrol-eragiketak egitean bi ereduetatik informazioa eguneratzen edo lortzen dutenak. Informazio-eredu horiek MeiA osagaien arteko elkarreragingarritasuna eta enpresaren maila estrategikoeikiko integrazioa errazten dute. Gainera, MeiA osagai bakoitza Biki Funtzional (*Functional Twin*) izeneko software-osagai batek baliozkotzen du, eta biki funtzional horrek osagaiak kontrolatutako unitatearen portaera simulatzen du [7].

Artikuluaren lehen atalak osagaiaren garapen-eredua aurkezten du, eta hurrengo bost ataletan osagai baten bost garapen-faseak jorratzen dira: analisia bere funtzionamendu-moduen bidez; diseinu arkitektonikoa; ereduaren, prozeduren eta biki funtzionalaren diseinu zehatza; osagaiaren inplementazioa automatizazio-proiektu batean, IEC 61131-3 arauaren arabera [6]; eta unitate-, integrazio- eta egiaztatze- eta balidazio-probak. Adibide gisa, fase bakoitza muntaia-zelula bateko lan-unitate baten kontrol-sistemaren eraikuntzarekin erakusten da. Artikulua ondorioen atal batekin amaitzen da.

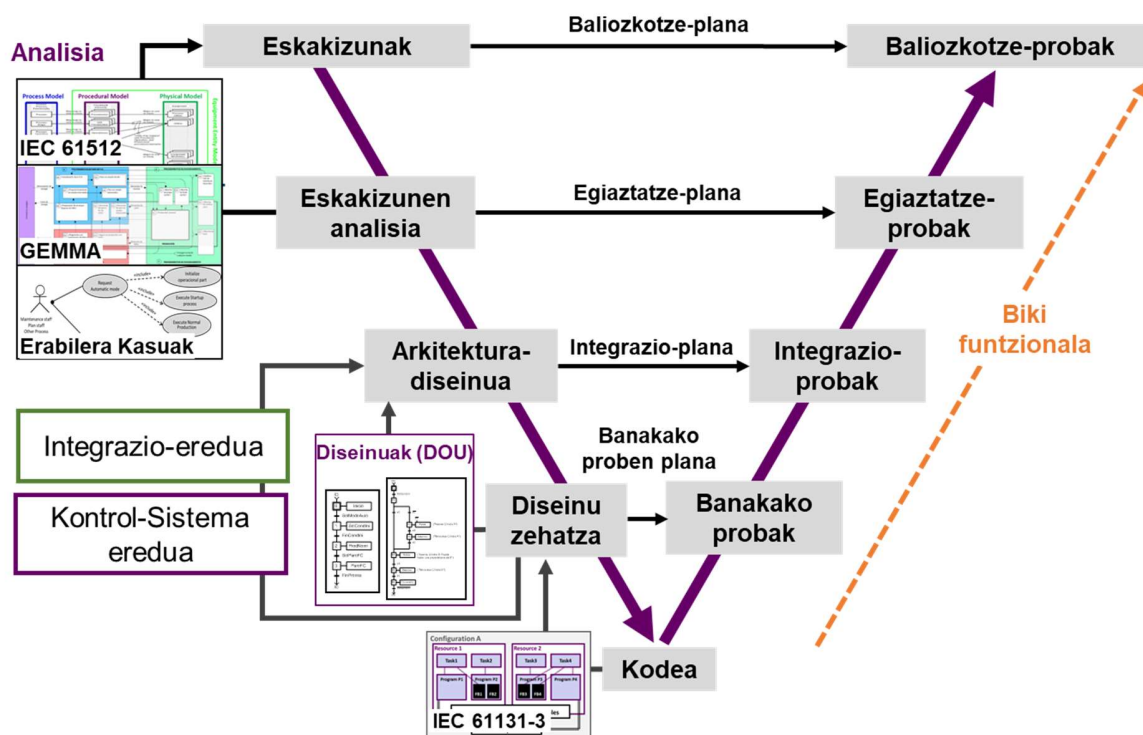
## 2. MeiA OSAGAIAREN GARAPENA

Kontrol-sistemak bete behar dituen eskakizunetatik abiatuta, MeiA osagai bat eraikitzeke garapen-zikloak V eredua hartzen du (1. Irudia), ISO/IEC/IEEE 12207 arauan [13] proposatutako prozesuen sekuentzia ezarriz eta automatizazio industrialeko metodoak erabiliz. MeiA metodologiak eskakizunak automatizazio-proiektu bilakatzeko eraldatze-prozesua gidatzen du. Automatizazio-proiektu hori IEC 61131-3 arauaren arabera gauzatzen da.

Prozesua *Eskakizunen Analisiarekin* hasten da, sistemaren eragiketa-moduak identifikatuz (automatikoa, eskuzkoa, geldialdia, etab.) eta eskakizun funtzionalak eta ez-funtzionalak zehaztuz. Horien artean daude sistemaren helburua, beharrezko eragiketak, abiarazteko baldintzak, prozesatutako informazioa eta inplikaturako seinaleak.

Sistemaren portaera irudikatzeko, GEMMA diagrama [14], IEC 61512 arauak proposatutako ereduak [15] eta Erabilera Kasuen diagramak (*Use Case Diagram*) erabiltzen dira. GEMMA

ulergarriagoa da prozesu-mailako langileentzat, eta IEC 61512 araua, aldiz, makina automatizatuak sailkatzera bideratzen da. Erabilera Kasuek inplikaturako eragiketak eta eragileak deskribatzen dituzte, gauzatzeko baldintzak eta egoeren arteko trantsizioak ezarri.



1. Irudia - V-Eredua MeiA osagaia garatzeko.

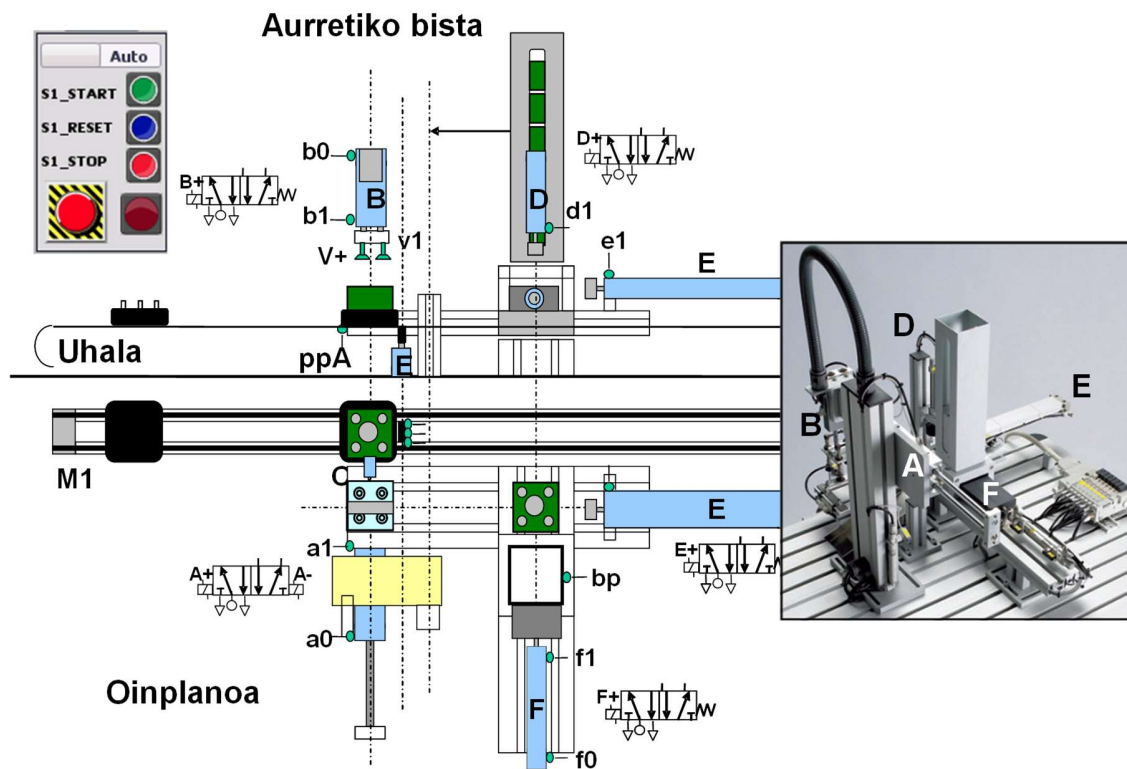
*Diseinu zehatza* GRAFCET [16] bidez egiten da, aurretiko analisiaren arabera egokitutako txantiloak erabiliz. Horiek prozedurak, kontrol-seinaleak eta beste elementu batzuekiko koordinazioa definitzen dituzte.

*Implementazioak* IEC-61131-3 araua jarraitzen du, hiru programazio-lengoaia grafiko eta bi testual eskaintzen dituenak. Azkenik, V-zikloaren eskuinaldean, hainbat test-fase ezartzen dira: alde batetik, unitarioak eta integraziokoak, eta bestetik, baliozkotzekoak eta egiaztatzekoak.

Garapen-urrats horiek, FMS 200 zelulari aplikatu zaizkio, lau unitatez eta garraio-sistema batez osatzen dena. Zelula honetan muntaketa eta biltegitarte lanak burutzen dira, eta garraio-sistema modular bat du, produktua unitate batetik bestera garraiatzeko. Produktuak lau pieza ditu: oinarria, errodamendua, ardatza eta estalkia. Bestalde, multzo ezberdinak osa daitezke, bi altuera (altua edo baxua), bi materialeko ardatzak (aluminioa edo nylonezkoa) eta bi materialeko (aluminioa edo

nylonezkoa), bi koloreko (argia edo iluna) eta bi altuerako (altua edo baxua) estalkiak daudelako. Prozesua lehenengo unitatean hasten da (*S1 Oinarria kokatzea*), non oinarri bat elikagailu (biltegi) batetik atera eta kargatzeko guneko palet baten gainean jartzen den. Bigarren unitatean (*S2 Robota*), robot batek biltegi banatetik errodamendua eta ardatza hartu eta oinarrian sartzen ditu. Hirugarren unitateak (*S3 Estalkia jartzea*) estalki bat ateratzen du grabitate-elikagailu batetik, materiala, kolorea eta altuera egiaztatzen ditu, estalki okerrak kentzen ditu eta zuzena jartzen dio. Laugarren unitatean (*S4 Biltegia*) produktuak gordetzen dira. Garraio-sistema modular batek (*ST Garraioa*) produktuak unitateen artean mugitzen ditu.

Zelula kontrolatzeko, lan-unitate bakoitzeko MeiA osagai bat garatu da, eta beste bat kontrol orokorrarentzako. Adibide gisa, S1 unitatearen osagaia zelan garatu den erakutsiko da.

2. Irudia: *Sl Oinarria kokatzea*

2. Irudian S1 lan-unitatea osatzen duten elementuen eskema erakusten da. Unitatearen funtzioa muntatuko den produktuaren euskarri izango den oinarria garraio-sistemako karga-posizioan kokatutako palet baten gainean uztea da. Horretarako, eragiketa hauek egin behar dira: biltegiko oinarria atera F zilindroaren bidez; oinarria garraio-eremuraino lekualdatu E zilindroaren bidez; oinarriaren posizioa

egiazatu D zilindroaren bidez; oinarri okerra baztertu C zilindroaren bidez; eta oinarria zuzen jarri paletaren gainean, bi zilindrok (A eta B) eta bentosa bidezko huts-sistema batek osatutako manipulazailer pneumatikoko baten bidez.

### 3. MeiA OSAGAIAREN ANALISIA

Metodologiak domeinuaren terminologia darabil analisirako, prozesuaren funtzionamenduan parte hartzen duten eragile guztien arteko komunikazioa erraztuz. Era berean, gainbegiratze- eta kontrol-beharrak identifikatzen eta funtzionamendu-panela konfiguratzeko laguntzen du, baita eragingailu eta adierazle espezifikoak dituzten beste panel osagarri batzuk konfiguratzeko ere.

Osagaiaren analisiak, funtzionatzeko moduen bidez, zazpi eredu eskaintzen ditu (1. Taula). Eredu horien artean daude RAMI 4.0 erreferentziazko arkitekturaren IEC 61512 arauak [15] proposatutakoak, GEMMA gidak [14] eta erabilera-kasuen diagramak.

1. Taula: MeiA osagai bat eraikitze eta dokumentatzeko ereduak

| Eredua                                                   | Deskripzioa                                                                                                  |
|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Prozesuaren eredu</i>                                 | Egin beharreko operazioak                                                                                    |
| <i>Prozeduren kontrol-eredua</i>                         | Identifikatutako operazioak egiten dituzten prozedurak ( <i>DOU - Design Organization Unit</i> )             |
| <i>Eredu fisikoa</i>                                     | Ekipamendu fisikoa burutzen dituzten eragiketen arabera multzokatzen du                                      |
| <i>Ekipamenduen eredu</i>                                | Operazioak egiten dituzten prozeduren eta prozedura horiek gauzatzen dituen ekipo fisikoaren arteko erlazioa |
| <i>Prozeduren egoera-eredua</i><br><i>GEMMA diagrama</i> | Osagaiaren egoera posibleak deskribatzen dituzte kontrol ikuspegi batetik                                    |
| <i>Erabilera-kasuen diagrama</i>                         | Osagaiaren portaera deskribatzen du, aktoreekin edo interesatuekin izandako elkarrekintzei erantzuteko       |

Lan-unitateko elementuak eredu fisikoan antolatzen dira hierarkikoki. Eredu hori egiteko kontuan hartzen dira IEC 61512 arauak ematen dituen azpi-banaketa printzipioak. Ekipoak multzokatzeko, burutzen dituzten eragiketak hartzen dira kontuan. Eredu fisikoaren deskonposizioa unitatea osatzen duten elementu guztien sarrera- eta irteera-seinaleak identifikatzeko mugatzen da.

Produktzio-operazioak *prozesuaren eredu*an gehitzen dira. Azterketa indibidual bat egin behar da, ekipoaren operazioak zein prozeduratan egingo diren zehazteko (*prozeduren kontrol-eredu*an gehitu behar dira). Prozeduren eta prozedura horiek gauzatzen dituzten ekipamenduen arteko erlazioa *Ekipamendu-eredu*an jasotzen da. *Eredu fisikoa* eta *prozeduren kontrol-eredu* lotuz eraikitzen da eredu hori. MeiA metodologia aplikatzearen emaitza dira aipatutako eredu horiek.

Bestalde, MeiA metodologiaren faseak sistema automatizatu batean eman daitezkeen operazio-egoerekin lotuta daude [11]:

**I. Faseak** operazio automatikorako sekuentzia nagusia ezartzen du. Txantiloiak daude 1. Taulan aipatutako ereduak burutzeko.

**II. eta III. faseek** eskuzko eragiketen eta saiakuntzen abiatzea eta gelditzea antolatzen dituzte, hurrenez hurren. III. fasea bi modu ezberdinetan egin daiteke: urratsez urrats ohiko ordena jarraituta edo bloke funtzionalen bidez.

**IV. faseak** prozesuan gerta daitezkeen matxurak identifikatu, aztertu eta ebaluatzen ditu.

**V. faseak** larrialdi-egoera martxan jartzeko eta itzaltzeko modua antolatzen du.

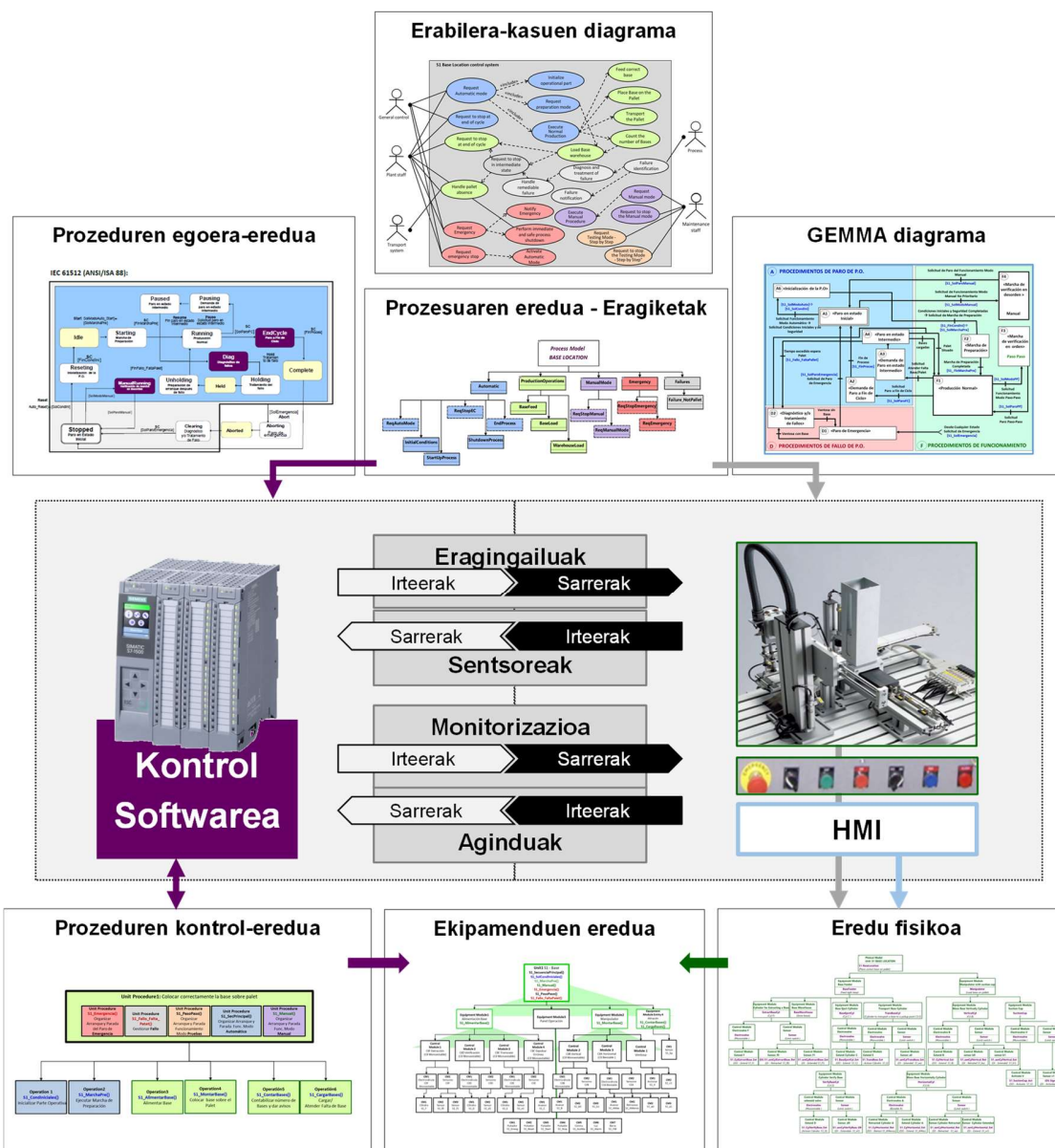
**VI. faseak** produkzio-zikloa ezartzen du. Produkzio-operazioak, horien prozedurak eta gauzatzeko ordena identifikatuko dira, bai eta horiek egiten dituzten ekipoak ere.

Fase horietako bakoitzaren analisisa urrats-sekuentzia ordenatu baten bidez egiten da, faseari lotutako eredueterako txantiloiak pertsonalizatu ahal izateko. 2. Taulan zehazten dira sei fase horiek, lehenik derrigorrezkoak eta gero hautazkoak.

S1 unitatearen osagaiaren kasuan, operazio-modu hauek jorratzen dira: automatikoa, eskuzkoa, matxurak eta larrialdia. Analisitik lortutako ereduak 3. Irudian aurkezten dira. Ereduetan ikus daitezkeen kolore bakoitza metodologiaren fase bati lotuta dago: urdina modu automatikorako (I. fasea), berdea ekoizpenerako (VI. fasea), gorria larrialdietarako (V. fasea) edo grisa matxuretarako (IV. fasea). Kolore hauek eredu ezberdinetan kontzeptu berak interpretatzen eta lotzen laguntzen dute.

2. Taula: MeiA metodologiaren faseak eta bakoitzean eman beharreko urratsak

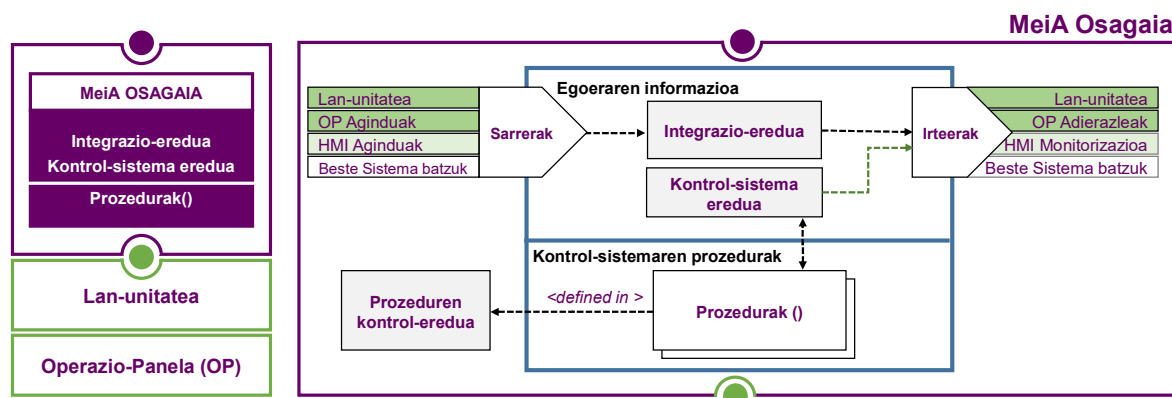
| Urratsak | I. Fasea: Modu automatikoa abiatzea eta gelditzea                                         |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1        | Modu automatikoa aktibatzea.                                                              |
| 2        | Hasierako egoerara itzultzea (hasierako eta segurtasuneko baldintzak).                    |
| 3        | Osagaia prestatzea ekoizpena hasi aurretik.                                               |
| 4        | Geldialdia eskatzea ekoizpenean zehar (ziklo amaierako geldialdia).                       |
| 5        | Prozesua amaitzea eta beharrezko ekintzak egitea ekoizpena amaitutakoan.                  |
|          | VI. Fasea: Produkzio-operazioak egingo dituzten ekipamendu-entitateak ezartzea            |
| 1        | Ekoizpen-operazioari ekitea.                                                              |
| 2        | Akzioak eta exekuzio-ordena deskribatzea, kanpoko eta barne-seinaleak kontuan hartuta.    |
| 3        | Prozesua bitarteko egoera batean gelditzeko eskaera zehaztea.                             |
| 4        | Ziklo amaierako geldialdia eta prozesuaren amaiera antolatzea.                            |
|          | V. Fasea: Larrialdiaren abiatzea eta gelditzea                                            |
| 1        | Larrialdi-modua aktibatzea.                                                               |
| 2        | Prozesua berehala eta segurtasunez geldiaraztea.                                          |
| 3        | Larrialdia adieraztea.                                                                    |
| 4        | Larrialdia konpontzea (protokoloa) eta larrialdi-modua desaktibatzea                      |
| 5        | Beharrezko ekintzak egitea larrialdi-modua amaitzean.                                     |
| 6        | Beharrezko akzioak larrialdia amaitutakoan.                                               |
| 7        | Modu automatikoa aktibatzea.                                                              |
|          | II. Fasea: Eskuzko moduaren abiatzea eta gelditzea – Aukerakoa                            |
| 1        | Eskuzko modua aktibatzea eta prozesua berehala geldiaraztea                               |
| 2        | Ekintzak egiteko kontrol-elementuak eta segurtasun-neurriak identifikatzea.               |
| 3        | Operazio-modu hori desaktibatzeke eskatzea.                                               |
| 4        | Beharrezko ekintzak egitea (hasierako eta segurtasuneko baldintzetan egiten ez direnean). |
| 5        | Beharrezko ekintzak egitea, behin eskuzko modua amaituta.                                 |
| 6        | Modu automatikoa aktibatzea.                                                              |
|          | III. Fasea: Saiakuntzen modua abiatzea eta gelditzea: urratsez urrats – Aukerakoa         |
| 1        | Aktibatu urratsez urratseko operazio-modua.                                               |
| 2        | Ezarri urratsez urrats aurreratzeko kontrola.                                             |
| 3        | Desaktibatu operazio-modua.                                                               |
|          | III. Fasea: Saiakuntzen modua abiatzea eta gelditzea: Bloke bidez – Aukerakoa             |
| 1        | Blokearen eragiketa-modua hasierako egoeran aktibatzea.                                   |
| 2        | Bloke funtzionalak eskatzen dituen hasierako eta segurtasuneko baldintzak betetzea.       |
| 3        | Blokea prestatzeko beharrezko ekintzak egitea.                                            |
| 4        | Blokea abiarazteko kontrolak eta urratsen aurrerapena ezartzea.                           |
| 5        | Operazio-modu hori desaktibatzea.                                                         |
| 6        | Bloke funtzionala amaitzea eta beharrezko ekintzak egitea, behin funtzio-blokea amaituta. |
|          | IV. Fasea: Akats posibleen identifikazioa - Aukerakoa                                     |
| 1        | Matxura-egoera detektatzea eta seinaleztatzea                                             |
| 2        | Akats konpongarria, ez konpongarria edo matxura duen ekoizpena ahalbidetzea.              |
| 3        | Matxura konpontzea (akzio-protokoloa).                                                    |
| 4        | Ziklo amaierako geldialdia eskatzeko beharrezko ekintzak egitea.                          |
| 5        | Larrialdia eskatzeko beharrezkoak diren ekintzak egitea.                                  |
| 6        | Matxura-zonatik desbideratzea, matxura-moduaren abiatze-prozesua, prozesu alternatiboak   |
| 7        | Matxuraren prozesua amaitzea.                                                             |



3. Irudia: S1 Oinarria kokatzea osagaiaren analisiaren ereduak.

#### 4. MeiA OSAGAIAREN ARKITEKTURAREN DISEINUA

MeiA osagaiaren arkitekturak (4. Irudia) egoeraren informazioa biltzen du bi eredutan eta kontrol-softwarearen eragiketa guztiak egiten dituzten prozeduretan. Integrazio-ereduak (IE) lan-unitatearen egoera eta ingurunearekin dituen loturak biltzen ditu, hau da, HMI (Human Machine Interface), WWW (World Wide Web), OP (Operazio-Panela) eta beste prozesu batzuk. Kontrol-sistemaren ereduak (KSE) kontrol-softwarearen egoera gordetzen du.



4. Irudia: MeiA osagaiaren arkitektura.

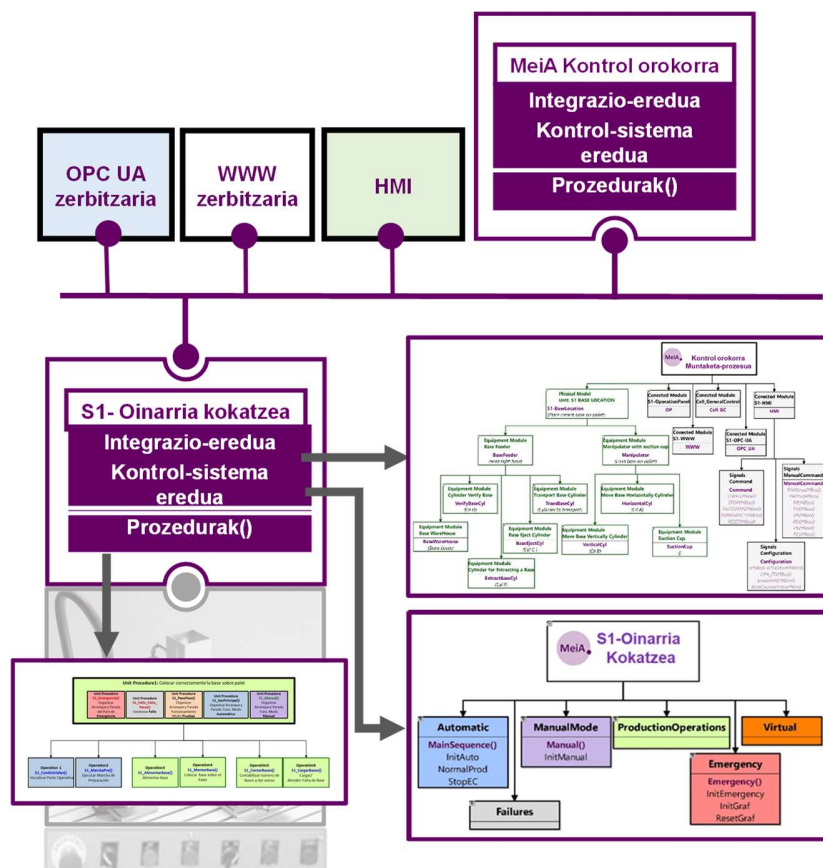
KSE eta IE ereduak osagaiaekin lotutako informazio guztia egituratzen dute. 4. Irudian ikus daitekeenez, kontrol-sistemara doazen sarrera guztiek IE ereduak eguneratzen dute. Sarrera horiek, lan-unitatearen egoerari buruzko informazioa eta agente-moduluetatik etor daitezkeen seinaleen informazioa dakarte. Zehazki:

- Lan-unitateko sarrerek sentsoreen informazioa eguneratzen dute.
- Operazio-paneletik eta HMI-tik datozen aginduek lotutako agente-seinaleak aldatzen dituzte.
- Honako hauek izan daitezke osagaiekin elkarreragiten duten beste sistema batzuen sarrerak: (1) osagaiaren prozedurak gauzatzea eskatzen duten produkzio- edo laguntza-operazioetatik datozen zerbitzu-eskaerak, (2) osagaien arteko koordinazio-informazioa, lankidetzan egindako operazio jakin batzuk gauzatzea edo eboluzionatzea ahalbidetzen dutenak, (3) ekoizpen-prozesua gauzatzeaz arduratzen den hierarkia-maila handiagoko osagaien agente-seinaleak.

Osagaiaren irteerei dagokienez, hiru helmuga bereiz daitezke:

- Eragingailuetarako irteerak, operazio-paneleko adierazleak eta HMI-koak, IE ereduak informazioarekin eguneratzen dira.
- Beste sistema batzuetarako irteerak KSE ereduak ematen ditu.
- Monitorizatzeko irteerak bi ereduetatik lortzen dira.

Kontrol-sistema osatzen duten prozedurek (*Prozeduren kontrol-ereduan* identifikatuak) ez dute lan-unitatearen edo agente-elementuen seinale fisikoak zuzenean jasotzen, ezta eragingailuei edo agente-elementuei seinaleak zuzenean bidaltzen, IE ereduaren bitartez baizik. Hau da, kontrol-sistemak IE eta KSE ereduaren informazioa erabili, aldatu edo lortzen du, burutzen ari den operazio motaren arabera.



5. Irudia: S1 Oinarria kokatzea unitateren MeiA osagaiari dagokion arkitektura

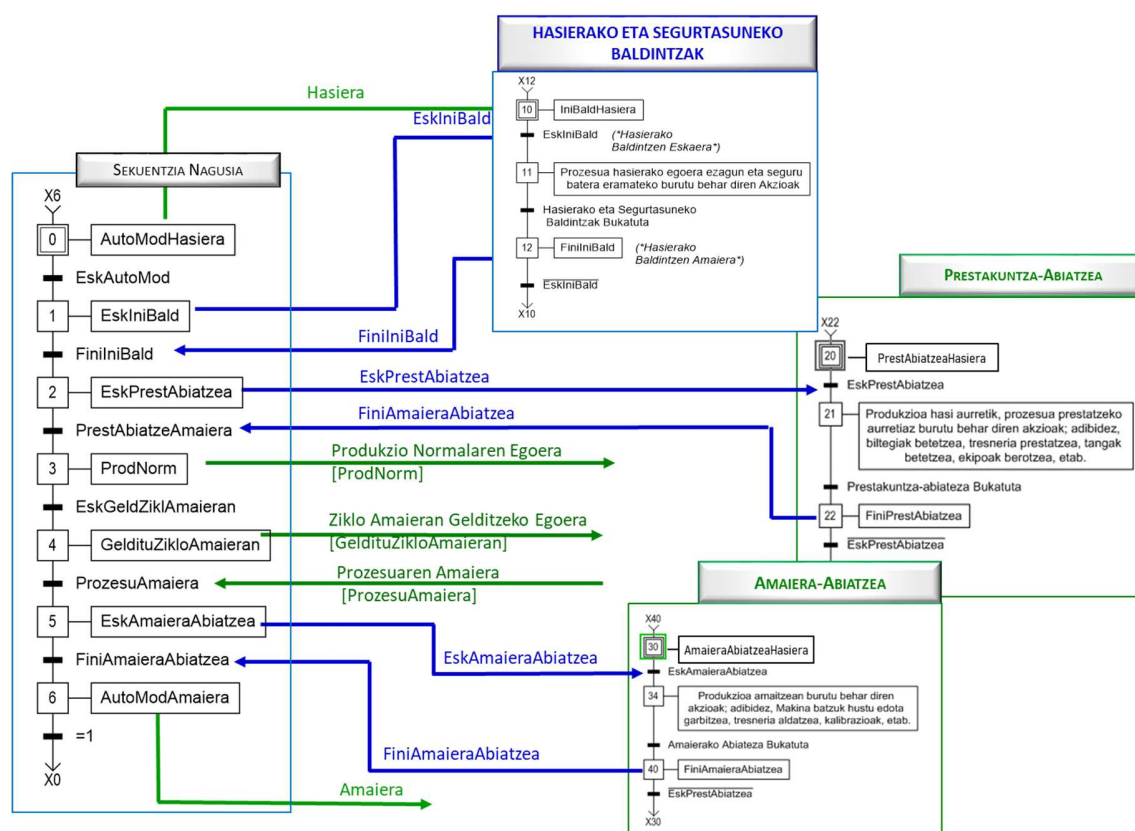
Bai eguneratzean, bai informazioa lortzean, KSE eta IE eredu tarako sarbidea mugatuta dago elkarreragiten duen gailuaren edo osagaiaren arabera. 5. Irudiak osagaiaren arkitektura erakusten du, S1 unitatearen kasurako. Alde batetik, IE ereduak barne hartzen ditu eredu fisikoa, operazio-panela, HMIIa, bi negozio-prozesu WWW eta OPC UA [17] bezeroen bidez, eta kontrol orokorra. Eredu fisikoak bi ekipo-modulu ditu: oinarrien elikagailua bere biltegiarekin, eta bi ardatz eta bentosa batez osatutako manipulatuzailea. Bestalde, KSE ereduak operazio-moduen eragiketak, horiek inplementatzen dituzten prozedurak eta lotutako kontrol-seinaleak biltzen ditu. Eragiketa birtualeko moduari (biki funtzionala) buruzko informazioa ere jasotzen du. Biki Funtzionala software-elementu bat da, osagaiak kontrolatutako entitatearen portaera simulatzen duena eta osagaia bera probatzeko tresna gisa balio du.

## 5. MeiA OSAGAIAREN DISEINU ZEHATZA

Atal honetan, *prozeduren kontrol-ereduan* identifikatutako prozeduren diseinua burutzen da. Diseinua GRAFCET espezifikazio-lengoaia erabiliz zehazten da, eta emaitza DOU (*Design*

*Organization Unit*) multzo bat da, prozedura bakoitzeko bat. Hiru DOU mota daude: *Erabakitze-DOU*a, operazio-modu bakoitzaren abiaraztea eta itzaltzea antolatzen duena, eta osagaiaren egoera posible guztiak koordinatzen dituena; *Produkzioko DOU*a, produkzio-eragiketak, eragiketen koordinazioa, ekoizpen-parametroen hautaketa eta abar egiten dituena; eta DOU *laguntzailea*, hasierako eta segurtasuneko baldintzak, martxan jartzeko baldintzak, abisuak eta abar betetzen dituena.

MeiA metodologiaren fase bakoitzak *Erabakitze-DOU*ak sortzeko txantiloia eskaintzen ditu, *DOU laguntzaileekin* koordinatzeko seinaleak eta *produkzioko DOU*etan erabili beharreko seinaleak barne hartzen dituztenak. Nahiz eta *Produkzioko DOU*entzako txantiloirik ez dagoen, *Erabakitze-DOU*ek ekoizpenean erabiltzen diren seinaleak eta *DOU laguntzaileentzako* koordinazio-seinaleak ematen dituzte.

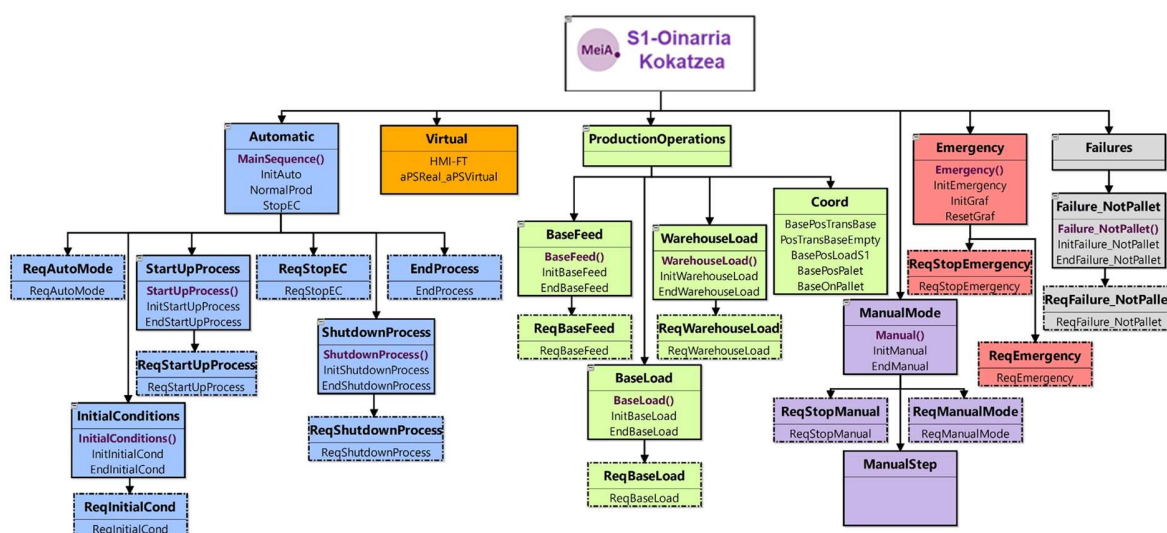


6. Irudia: Sekuentzia nagusia (modu automatikoa) diseinatzeko txantiloia

Adibidez, 6. Irudian Sekuentzia Nagusiaren (I. Fasea) zenbait DOU diseinatzeko txantiloia agertzen dira, kasu honetan, eragiketa automatikoa abiarazteko eta gelditzeko modua definitzen dutenak. Ikus daitekeenez, prozedura bakoitzari lotuta hiru seinale garrantzitsu daude, operazioaren egoerari

buruzko informazioa ezagutzeko erabiltzen direnak: *hasiera*, *amaiera* eta *eskaera*. Lehenengo biak prozedura zein egoeratan dagoen zehazteko erabiltzen dira. *Hasiera* seinalea aktibatuta badago, operazioa hasierako egoeran dagoela esan nahi du, abiatzeko *eskaera* seinalearen zain. Operazio amaitzen denean, *amaiera* seinalea aktibatzen da.

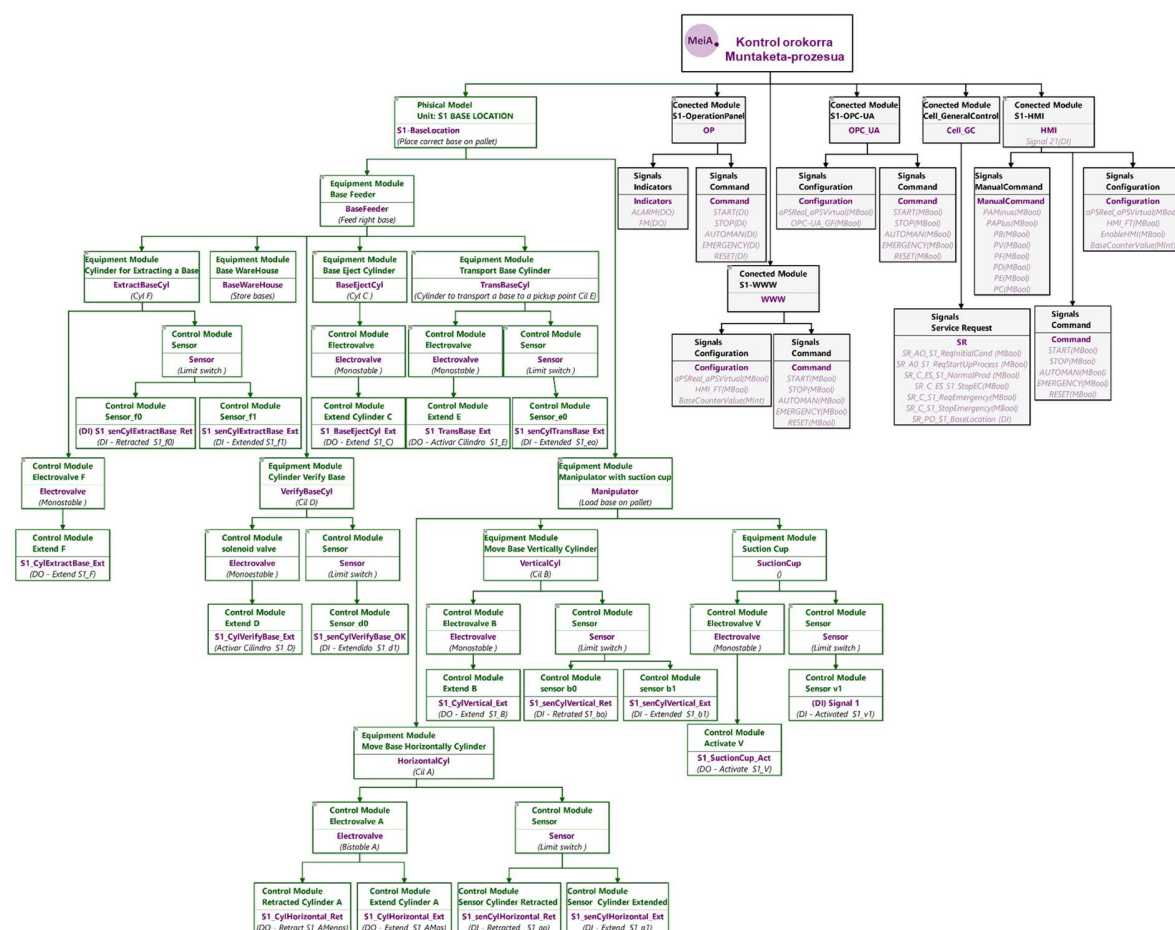
**Kontrol-sistema eredu (KSE):** Prozedura guztien diseinu zehatza amaitutakoan, kontrol-softwareari dagokion informazioa KSE ereduaren egituratzen da. Operazio-moduen eragiketak *prozesuaren eredutik* hartzen ditu, eta eragiketa horiek egiten dituzten prozedurak *prozeduren kontrol-eredutik*. Prozedura bakoitzari lotutako kontrol-seinaleak gordetzen ditu ere.



7. Irudia: S1 Oinarria kokatzea lan-uniteteko MeiA osagaiaren KSE eredu

KSE ereduak kontrol-softwarearen informazio osoa jasotzen du, hala nola operazio-moduak, lan-unitatearen eta ekoizpen-operazioen egoerak, koordinazio-seinaleen egoera, abisuak, tenporizadoreak eta kontagailuak, baita funtzionamendu birtualerako eta ekoizpen-errezeten informazioa ere; eredu hau modu inkrementalean eraikitzen da, fase bakoitzean txantiloia pertsonalizatuz. Aplikazio adibiderako, 7. Irudiak S1 osagaiaren KSE eredu aurkezten du. Esan bezala, eredu honetan diseinatu diren kontrol-sistemaren prozedura guztiak eta horien egoera adierazten duten seinaleak azaltzen dira, operazioak zein egoeratan dauden adieraziko dutenak. Prozedurak lerro jarraituarekin adierazi dira eta seinaleak lerro etenarekin.

**Integrazio-ereduak (IE)** honakoak hartzen ditu barne: eredu fisikoa, gailuen arabera antolatutako seinale guztiekin; operazio-panela, aginte- eta/edo monitorizazio-funtzioak dituzten beste gailu edo ekipo batzuekin (HMI, web zerbitzaria, OPC-UA bezeroa, etab.); eta osagaiari zerbitzuak eskatzen dizkioten beste prozesu batzuk. 8. Irudiak aplikazio adibidearen IE ereduak erakusten du.



8. Irudia: S1 Oinarria kokatzea lan-unitaterako Meia Osagaiaren Integrazio-eredua

**Biki funtzionalaren diseinua:** Biki funtzionalak entitate kontrolatuaren portaera simulatzen duenez, kontrol-softwarearen aginduei erantzuten die (lan-unitatearen sarrerak), lan-unitatearen irteerak simulatzen dituzten sentsoeren irteera-seinaleak sortuz edo aktibatuz. Biki funtzionala software-osagai berrerabilgarrien multzo batetik diseinatu da, Oinarrizko Osagai Funtzionalak (BFC – *Basic Functional Components*) izenekoa [7]. Osagai horiek eredu fisikoaren kontrola edo ekipamendu-moduluaren funtzionaltasuna simulatzen dute.

## 6. MeiA OSAGAIAREN INPLEMENTAZIOA

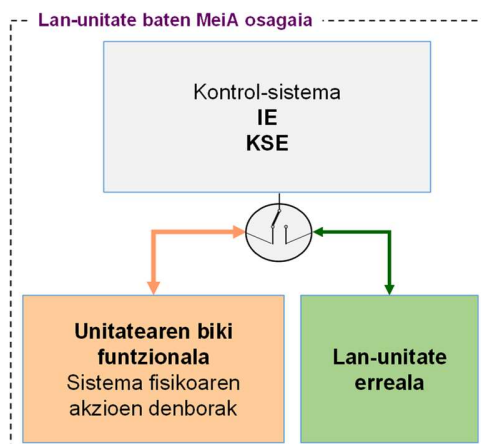
IE eta KSE ereduetan bildutako informazioa da MeiA osagaia inplementatzeko oinarria. Automatizazio proiektua IEC 61131-3 arauan proposatutako software ereduari jarraituz dago egituratuta. Osagaia POU (Program Organization Unit) batean inplementatzen da, FB (Functional Block) motakoa. Kodea, diseinu zehatzaren isla dena, arau honetan proposatzen diren lengoaiak erabiliz egiten da.

***Aldagai globalen taula sortu behar da.*** Aldagai global horiek lan-unitatera konektatzen diren sarrera eta irteerekin bat datozen, eta plantako nomenklatura erabiliko da. Kontuan izan behar da, sortutako aldagai bakoitzeko sarbide-baimenak esleitu behar direla osagaiarekin elkarreragiten duten eragileentzat. Sarbide baimen hauek osagaiaren arkitekturaren diseinuan daude ezarrita.

***MeiA osagaiaren FBaren interfazea definitu behar da.*** Interfazearen definizioak zera eskatzen du: (1) sarrerak eta irteerak IM ereduaren erabilitako nomenklatura berarekin adieraztea; (2) KSE eta IE ereduak egitura-motako aldagai estatiko gisa definitzea; eta (3) prozedurak exekutatzeke behar diren aldi baterako beste aldagaiak eta konstanteak. Sarrerako aldagaiak lan-unitatetik datozen sarrerak dira (sentsoreak, % I). Irteerako aldagaiak lan-unitatera doazen irteerak dira (eragingailuak, % Q).

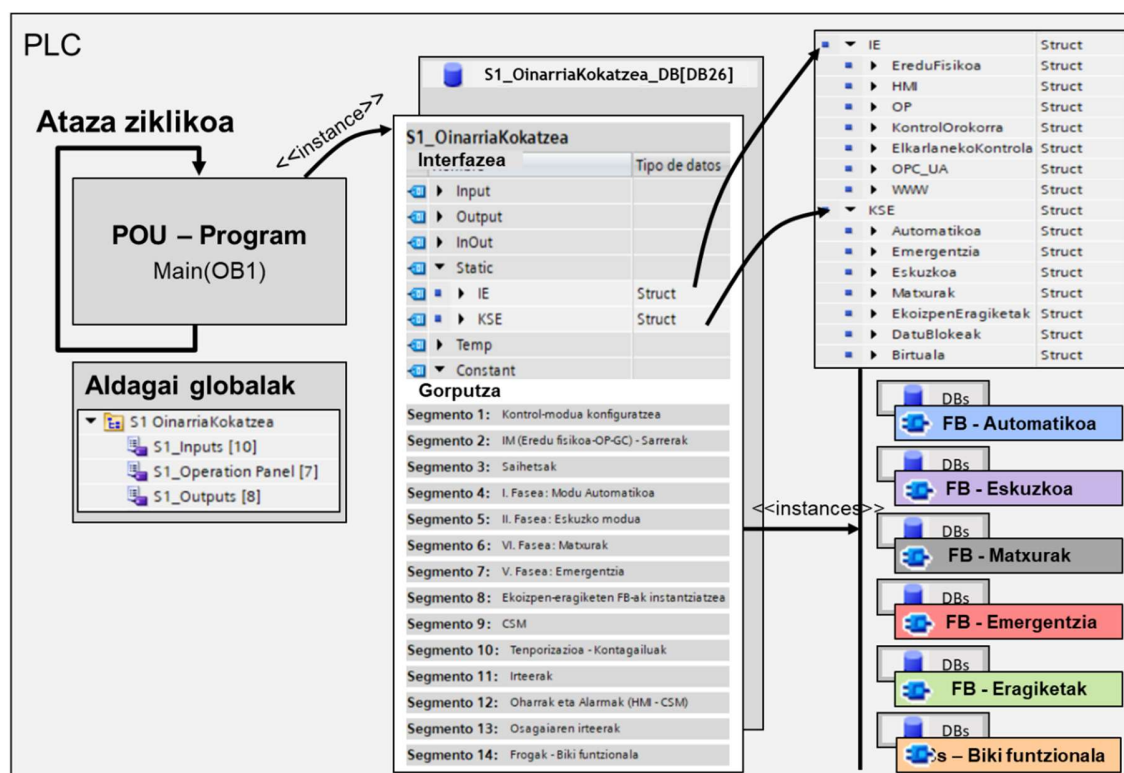
***Diseinatutako DOU bakoitza FB batean inplementatzen da.*** FB motako POU bat garatzen da DOU bakoitzerako, bere diseinu zehatzetik abiatuta, KSE eta IE ereduaren datuak kontuan hartuta. FB hauek DOU-aren eboluzioa ematen duen zati sekuentziala zuzentzen dute. POU bakoitzak lehen aipatutako hiru seinaleak ditu, operazioaren *eskaera*, *hasiera* eta *amaiera* seinaleak ditu bere blokearen interfazean, baita beste bi seinale ere sekuentzia berrezarri eta abiarazteko. POU-en programazioa IEC 61131-3 estandarreko edozein programazio-lengoaiatan egin daiteke, baina aukerarik intuitiboena SFC lengoia erabiltzea da, GRAFCET-en egindako diseinuen irudia ia zuzena izango litzatekeelako. Erabakien DOU-ak berrerabilgarriak dira.

***Biki funtzionala FB batean inplementatzen da.*** Unitate baten biki funtzionala inplementatzeko, FB-aren interfazeak honako adierazpen hau du: (1) osagaiaren irteerei dagozkien sarrerak, hau da, eragingailuak aktibatzen dituztenak; eta (2) biki funtzionalaren sarrerak/irteerak, unitatearen egoeraren berri ematen duten sarrerei dagozkienak. FB-aren gorputzak identifikatutako oinarritzko osagai funtzionalak eta biki funtzionalaren sarrera/irteerekin dituzten konexioak jasotzen ditu. Testu egituratua (*ST - Structured Text*) edo kontaktuen diagrama (*LD - Ladder Diagram*) lengoaietan programa daiteke. Nabarmentzekoa da unitate baten biki funtzionala MeiA osagaiaren parte dela (9. Irudia).



9. Irudia: Lan-unitate baten MeiA osagaia

**MeiA osagaiaren FB-aren gorputza implementatu behar da.** Osagaiaren funtzionaltasuna gorputzean eraikitzen da. IEC 61131-3 arauak proposatutako lau programazio-lengoiatan programatu daiteke: kontaktuen diagrama (LD), bloke funtzionalen diagrama (*FBD – Functional Block Diagram*), testu egituratua (ST) edo instrukzioen zerrenda (*IL – Instruction List*).

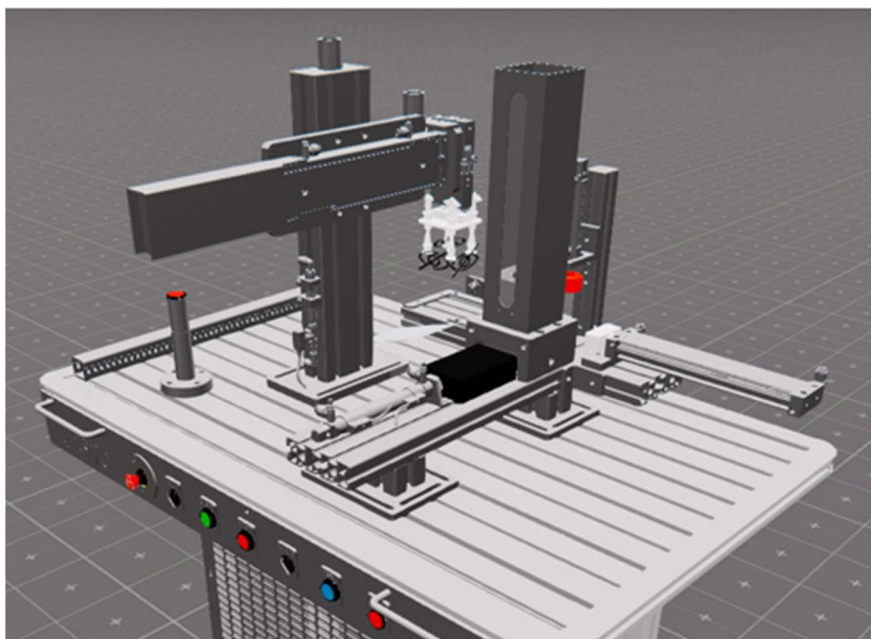


10. Irudia: S1 Oinarria kokatzea lan-unitaren MeiA osagaiaren implementazioa

Aplikazio-adibiderako, FB motako POU-a erakusten du 10. Irudiak, TIA Portalen (Siemens) inplementatutako osagaiari dagokiona. IE eta KSE ereduak parametro estatiko gisa definitzen dira FB-aren interfazean. Gorputzak, segmentutan egituratuta, diseinatutako prozeduren FB-en instantziak ditu. Programa nagusia PROGRAMA motako POU bat da, exekuzio ziklikoa duena, zeinetan MeiA osagaia instantziatzen den.

## 7. MeiA OSAGAIA PROBATZEA

Software-probak funtsezkoak dira garapen-zikloan. V ereduaren eskuineko adarrean (2. Irudia) proba-faseak ezartzen dira: alde batetik banakako eta integrazio-probak, eta bestetik, egiaztapen- eta baliozkotze-probak. Probak egiteko HMIA erabiltzen da, konmutagailu baten bidez (FT) biki funtzionala hautatzea ahalbidetuko duena, tresna egokia baita proba guztiak burutzeko. FT-aren alternatiba gisa, Machines Simulator aplikazioarekin egindako biki digitala erabil liteke eredu birtual gisa (11. Irudia).



11. Irudia: S1 lan-unitatearen biki digitala

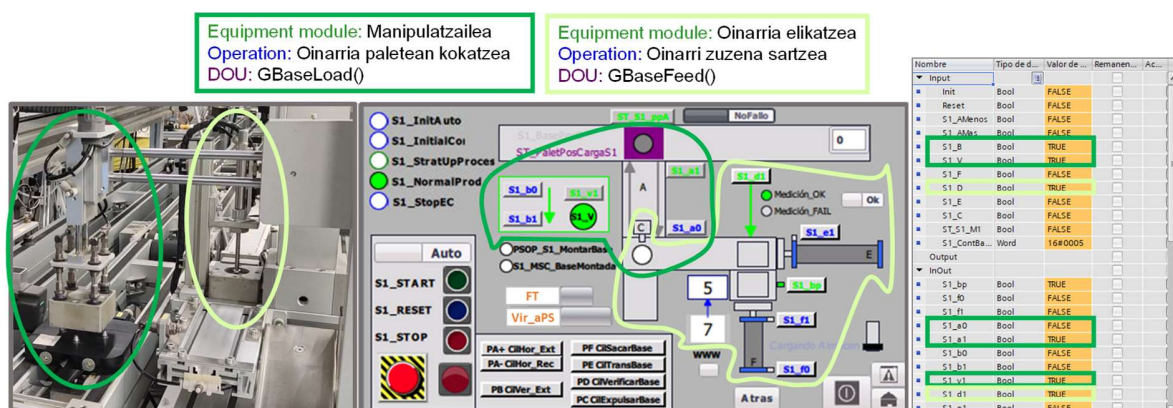
**Banakako probak.** POUen bakarkako funtzionamendua bi proba motarekin egiaztatzen da: egiturazkoa eta funtzionala. Zati sekuentzialaren egitura-probek graficet-eko urrats bakoitzaren aktibazio eta desaktibazioa zuzen burutzen dela egiaztatzen dute, eboluzio-bide posible guztiak behar bezala exekutatzen direla ziurtatuz. Zati konbinazionalaren proba funtzionalek urratsak aktibatu ahala ekintzak

behar bezala egiten direla egiaztatzen dute. Azkenik, operazio-probak egiten dira ere, POUaren funtzionaltasuna ondo burutzen dela egiaztatzeko.

**Integrazio-probak.** POUen arteko koordinazioa eta sinkronizazioa egiaztatzeko aukera ematen dute. Horretarako, egiturazko probak eta proba funtzionalak egin behar dira. Lehenengoei dagokienez, sinkronizazio-probak egiten dira POUen arteko koordinazio-seinaleak egiaztatzeko. Zehazki, egiaztatzen da bai prozedura osagarriak bai agente-seinaleak zuzen aktibatzen direla operazio mota bakoitzaren erabakitze POUetatik. Azkenei dagokienez, operazio-probak egiten dira lan-unitateko egoera guztiak egiaztatzeko, horietako bakoitzean esku hartzen duten operazio guztiak balioztatzeko (operazio bakoitzaren hasiera, gauzatzea eta gelditzea zuzen egiten dela).

**Egiaztatze- eta baliozkotze-probak.** Kontrol-sistemaren garapena eskakizunen analisietatik abiatzen da. Beraz, egiaztapen-probekin MeiA osagaiak eskakizun funtzional eta ez-funtzional horiek betetzen dituela egiaztatzen da. Baliozkotze-probekin, berriz, osagaiak bezeroak ezarritako eskakizunak eta beraren negozio-helburuak betetzen dituela egiaztatzen da.

12. Irudiak paraleloan egiten diren bi operazio erakusten ditu: "Oinarri zuzena sartzeta" eta "Oinarria paletan kokatzea". Operazio horiek identifikatuta daude bai unitate fisikoan (argazkia ezkerrean) bai HMIan (erdian). Exekuzioa S1 lan-unitatearen biki funtzionala erabiliz egin da, HMI-an dagoen seinalean (S1\_V) ikus daitekeen bezala. Bi operazio horien exekuzioan inplikaturako seinaleak biki funtzionala inplementatzen duen FB blokearen interfazean nabarmendu dira (eskuinean). Aipatzekoa da operazio paraleloak exekutatze probak ezin izan direla egin PLC programatzaileen IDEek edo HMIEk eskaintzen dituzten simulazio-sistemekin, biki funtzionala erabili behar izan dela horretarako.



12. Irudia: S1 Oinarria kokatzea unitatearen MeiA osagaiaren probak biki funtzionala erabiliz

## 8. ONDORIOAK

Lan honetan, MeiA 4.0 metodologiaren arabera garatutako kapsulatutako kontrol-unitateen erabilera azaldu da lan-estazioen kontrol-sistemak eraikitzeko. Osagai bakoitzak prozesuaren informazio osoa kapsulatzen du, bai analisiaren, bai diseinu zehatzaren eta bai programazioaren ikuspegitik.

MeiA osagai horiek programazioaren xehetasunen abstrakzio-maila bat eskaintzen dute, eta funtzionaltasuna eskaintzen duen interfaze baten bidez erabiltzen dira. Ekoizpen-prozesuaren sarrera eta irteera fisikoekiko konexioa integrazio-eredu baten bidez egiten da.

Bestalde, osagai bakoitzak kapsulatutako eredu guztiei esker, sistema osoaren egoera uneoro ezagutu daiteke. Eredu fisikoak sentsoreen eta eragingailuen egoera zehatza eskaintzen du. Kontrol-sistemaren ereduari, kontrol-softwarearen egoera ere badago: zein funtzionamendu-modutan dagoen (hasierako baldintzak, prestaketa martxa, produkzio normala, etab.) eta une bakoitzean zein eragiketa exekutatzen ari den, adibidez.

Ondorioz, metodologia honek sistema modular, berrerabilgarri eta sendo baten garapena errazten du, eta automatizazio-proiektuen mantentzea eta eguneratzea askoz eraginkorragoa bihurtzen du. Azkenik, nabarmendu behar da metodologiak eskaintzen dituen gidalerroek eta txantiloiek sektoreko terminologia erabiltzen dutela, eta parte-hartzaile guztien arteko komunikazioa hobetzen dutela kontrol-sistemaren garapenean, instalazioan eta funtzionamenduan.

## 9. BIBLIOGRAFIA

[1] Jasperneite, J., Sauter, T. eta Wollschlaeger, M. 2020. «Why we need automation models: Handling complexity in industry 4.0 and the internet of things». *IEEE Ind Electron Mag*, 14, 29–40.

[2] Yarlagadda, R. T. 2021. «Software engineering automation in it». *International Journal of Innovations in Engineering Research and Technology*, 8, 54–61.

[3] IEC «61131-3:2013. Programmable controllers - Part 3: Programming languages». <https://webstore.iec.ch/publication/4552>.

[4] Irisarri, E., Estévez, E., eta Marcos, M. 2010. "Industri Automatizazioan kontrol-programak berrerabiltzeko bidean" *EKAIA* (23), 157-172.

[5] Vogel-Heuser, B., Neumann, E.-M. & Fischer, J. Maturity levels for automation software engineering in automated production systems, 618–623 (IEEE, 2022).

[6] Murphy, L. 2023. «The age of automation: what skills do employees need to stay relevant? », *Strategic HR Review*, 22 (5), 146–150.

[7] Vogel-Heuser, B., Fischer, J., Neumann, E.-M. eta Kreiner, M. 2021. «Success factors for the design of field-level control code in machine and plant manufacturing – an industrial survey». *Research Square*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:233922775>

[8] Wan, Z., Gao, Z., Di Renzo, M. eta Hanzo, L. 2022. «The road to industry 4.0 and beyond: A communications, information, and operation technology collaboration perspective». *IEEE Network*, 36, 157–164.

[9] Binder, C., Neureiter, C. & Lüder, A. Towards a domain-specific approach enabling tool-supported model-based systems engineering of complex industrial internet-of-things applications. *Systems* 9, 21 (2021).

[10] Wiesmayr, B., Zoitl, A. & Rabiser, R. Assessing the usefulness of a visual programming ide for large-scale automation software. *Soft Syst Model* 22, 1619–1643, (2023). [6] Álvarez, M. L., Sarachaga, I., Burgos, A. eta Iriondo, N. 2024. «Gemelos funcionales para validar el software de control». *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial*, 21, 159–170.

[11] Álvarez, M.L., Estévez, E., Sarachaga, I., Burgos, A. eta Marcos, M. 2013. «A novel approach for supporting the development cycle of automation systems». *Int J Adv Manuf Technol*, 68 (1), 711–725.

[12] Burgos, A., Sarachaga, M.I., Álvarez, M.L., Iriondo, N., 2022. Metodología MeiA 4.0. Txostena. ResearchGate. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.22961.66400>.

[13] ISO/IEC/IEEE 12207: 2017. «Systems and software engineering – Software life cycle processes». International Organization for Standardisation.

[14] ADEPA. 1981. «Gemma (guide d’Etude des modes de marches et d’arrêts) ». Tech. Rep.

[15] International Organization for Standardization. 1997. «IEC 61512-1: Batch control-part 1: Models and terminology». Tech. Rep., IEC. URL <https://webstore.iec.ch/publication/5528>.

[16] IEC. 60848: Grafcet specification language for sequential function charts. Tech. Rep., IEC (2013). URL <https://webstore.iec.ch/publication/3684>.

[17] OPC Foundation. 2022. «OPC 10000-1: UA Part 1: Overview and Concepts. OPC-UA (Open Platform Communications - Unified Architecture) ».

## **ESKER ONAK**

Lan honek ELKARTEK KK-2025/00035 proiektuaren babesak jaso du.